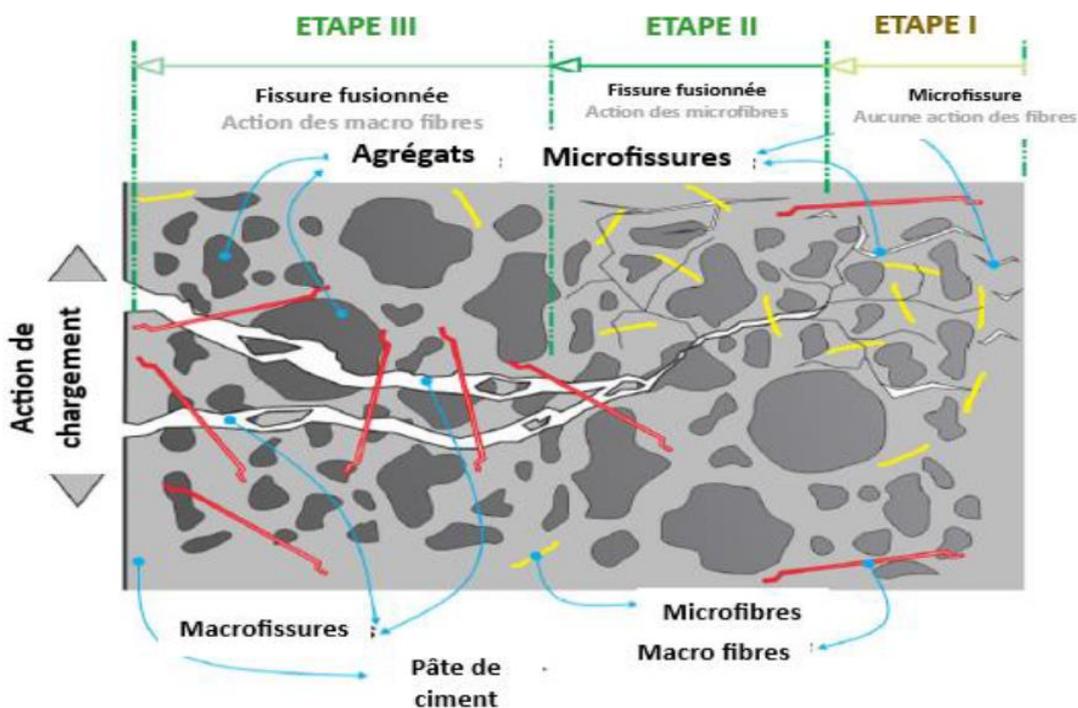


LE BETON DE FIBRES

L'idée d'améliorer le type et les caractéristiques des fibres afin d'augmenter leurs contributions est assez ancienne. Les fibres végétales comme la paille ou le bois sont parmi les premières fibres utilisées par nos ancêtres. De nos jours, elles sont encore utilisées dans le domaine de la construction. On peut aussi distinguer les fibres d'acier qui datent du début de 20ème siècle, les fibres organiques qui ont fait leur apparition vers les années soixante du siècle précédent ou encore les fibres de verre qui datent des années soixante-dix de ce même siècle. L'évolution de la fibre était donc nécessaire car le choix d'un tel ou tel type de fibre dépend non seulement de la matrice dans laquelle seront noyées les fibres mais aussi de la destination du matériau.

Les matériaux cimentaires renforcés par des fibres sont constitués d'une matrice cimentaire à laquelle des fibres sont ajoutées. En d'autres termes, il s'agit d'un matériau cimentaire armé à l'échelle locale où les fibres peuvent s'apparenter à de multiples barres d'armatures qui permettent de contrôler la fissuration. Les fibres permettent donc de « coudre » les fissures et ne prennent alors effet qu'après la fissuration de la matrice cimentaire. Les chercheurs ont affirmé que l'ajout de 1 à 2% de fibres au béton réfractaire donne une amélioration significative à sa résistance et sa durabilité.

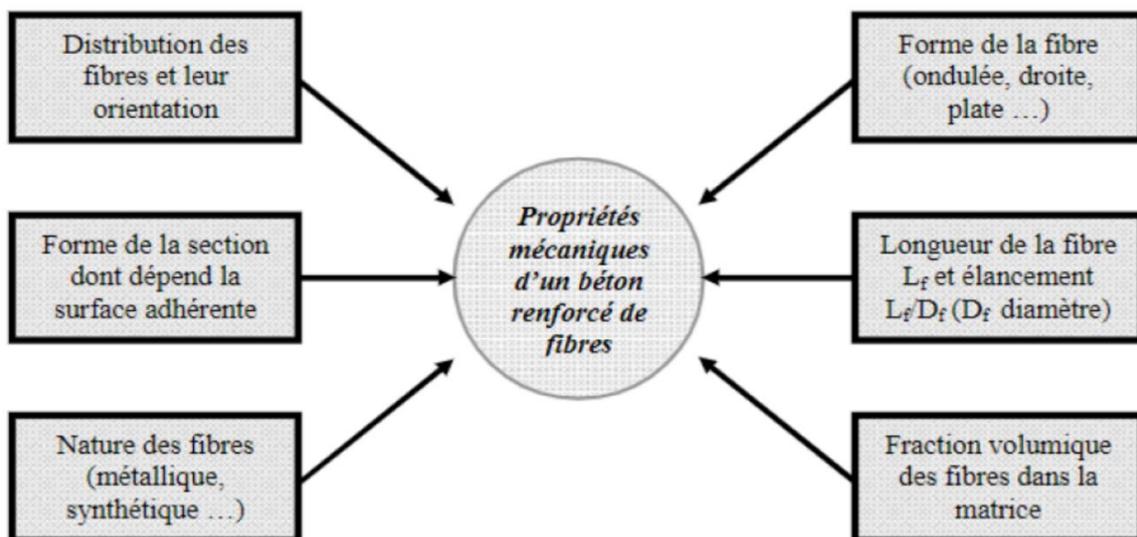


Étapes de fusionner des fissures et d'action des fibres

1. Rôle des fibres dans les matériaux cimentaires

- L'amélioration de la cohésion du béton frais.
- L'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration.
- La réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur).
- L'augmentation de la résistance à la traction par flexion.
- L'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs et à la fatigue.
- La protection contre les éclatements provoqués par le gel.

2. Différents facteurs influençant sur le comportement mécanique d'un béton Fibré



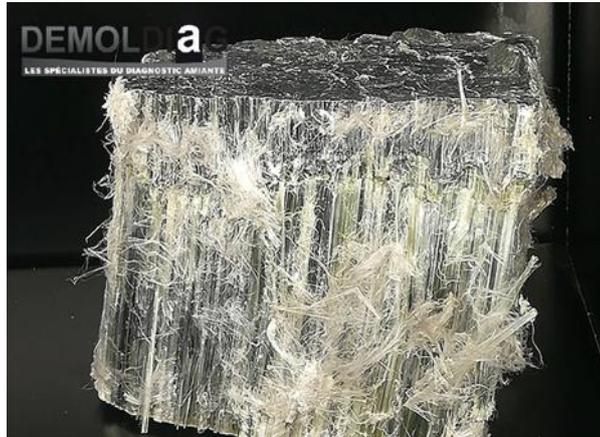
3. Type des fibres

On retrouve sur le marché plusieurs types de fibres, elles peuvent être classées par familles, un choix approprié du type de fibre à utiliser est essentiel. Chaque type de fibre possède des caractéristiques particulières qui les rendent apte à servir à une utilisation plutôt qu'à une autre.

3.1. Les fibres en amiante

Les fibres en amiante sont des silicates hydratés de magnésium extrait de roches appartenant aux familles de serpentine (chrysolite) et des amphiboles (crocidolites).

Elles sont parmi les plus anciens renforcements des matrices cimentaires utilisées aussi pour leur excellente tenue au feu



Fibres en roche d'amiante

3.2. Les fibres en verre

Les fibres de verre sont fabriquées à partir de verre fendu. Les fibres de verre sont riches en silice et permettent d'améliorer les caractéristiques mécaniques. Les fibres à forte teneur en bore présentent aussi de bonnes caractéristiques mécaniques, mais sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment.

Les fibres de verre présentent plusieurs avantages, à savoir :

- Amélioration des caractéristiques des matériaux cimentaires au vieillissement
- Une excellente résistance au feu jusqu'à 800C°
- Une résistance à la traction élevée de l'ordre de 3000 MPa



Fibres en Verres

3.3. Les fibres en polypropylène

Les fibres en polypropylène sont des produits d'origine pétrolière, découverts en 1954. Grâce à leur prix, elles sont très utilisées sous forme de microfaisceaux. Elles permettent de renforcer les mortiers ou les bétons et limiter l'ouverture des fissures engendrant une amélioration des résistances dans des milieux alcalins ou corrosifs. Elles sont utilisées principalement dans les bâtiments, en particulier dans la réalisation des panneaux décoratifs, revêtement de façade, des tuyaux et au niveau des pieux.

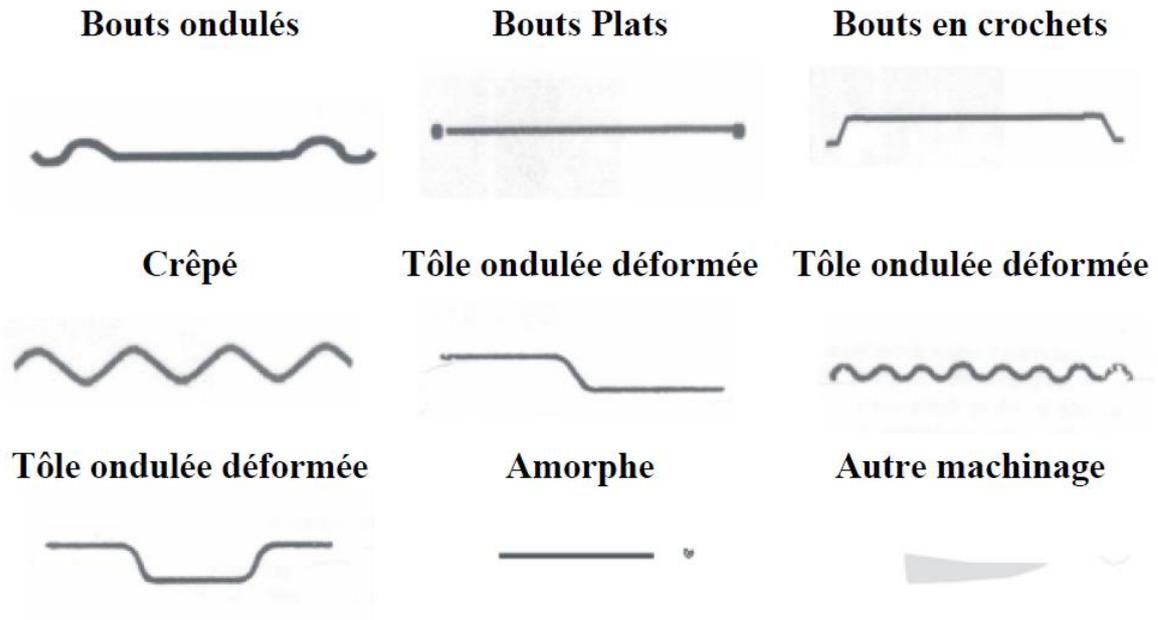


Fibres polypropylène

3.4. Les fibres métalliques

Les fibres métalliques sont les plus utilisées dans les constructions. Elles ont fait l'objet de plusieurs recherches. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leurs diamètres, leurs sections (ronde, carrée, rectangulaire.....), leurs longueurs et leurs modes d'élaboration.

Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présenter des élargissements aux extrémités, soit coudées ou en crochets. Les fibres métalliques, caractérisées par un module d'élasticité élevé, permettent d'améliorer la résistance à la traction du matériau où elles sont noyées en augmentant sa ductilité et son pouvoir de résister aux déformations.



Fibres métalliques

3.5. Les fibres naturelles

De nos jours, l'utilisation des fibres naturelles comme le coton, le lin, le chanvre, le palmier dattier, sisal, la paille de sisal, le jute de noix de coco et l'alfa dans le domaine du génie civil est devenue fréquente. Ce succès est principalement marqué par certaines propriétés mécaniques et physiques de ces fibres, en plus du bilan carbone nul et de la biodégradabilité qui reste des avantages majeurs par rapport à l'écologie.



Fibres en Chanvre



Fibres en sisal

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en :

- Fibres naturelles minérales et végétales : amiante, cellulose
- Fibres synthétiques d'origine minérale : verre, carbone, fibres métalliques
- Fibres synthétiques organique : polypropylène, aramide

Les différentes fibres utilisées

Fibres naturelles			Fibres artificielles	
Végétales	Animales	Minérales	Minérales	Organiques
Lin Chanvre Coton Celluloses Sisal	Poil Crin Laine Soie	Amiante de roches Silicomagnésiennes	Laitiers de haut fourneau Laine de roche (basalte) Carbone Céramique Métaux (acier, fonte) Verres spéciaux	Polymères longs dont les molécules sont orientées dans l'axe de fibre

4. Choix des fibres

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte paramètres suivants :

- Être relativement longues, fines, flexibles, ne pas se casser lors du malaxage.
- Posséder une forte résistante en traction.
- Bien adhérer à la pâte du ciment (forme- adaptée état de la surface facilitant l'accrochage).
- Être sans danger pour la main-d'œuvre.
- Être d'un prix compétitif et acceptable

- Ne pas être attaquées par le milieu basique du ciment ; ni corrodées par le milieu extérieur.

5. Les caractéristiques moyennes des fibres les plus utilisées

Généralement une fibre est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Les principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées

Fibres	Diamètre (µm)	Long (mm)	Densité	Rt (MPa)	E (GPa)	Allongement à La rupture en%	Coeff. de dilatation (µ / m)	R _{feu} Temp. Max °C
Acier	5 - 500	20 - 80	7.8	1000-3000	200	3-4	11	1500
Fonte (ruban)	36 - 2600	50 - 60	7.8	2500	140	1	-	1500
Verre	5 - 20	40 - 70	2.6	1500-3000	80	2 - 3.5	9	800
Polypropylène	10 - 200	25 - 75	0.9	400-750	5-10	15 - 25	90	150
Polyester	-	-	1.4	700-850	8	11 - 13	-	-
Amiante	0.02 - 20	5	2.5 - 3.5	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5 - 9	Variable	1.7-2	2000-3000	250-400	0.5 - 1.5	-	400-1500
Sisal	10 - 50	1.50	1.5		130	3	-	-
Basalte	9 - 17	6-72	2.6	3000-4800	83-110	1.25 - 3.2	-	700
Aramide	12 - 15	50	1.45	3500-6000	70-140	2.8 – 3.6	-	250
Palmier dattier	100-1000	0.4-1.5	0.7–1.55	170–275	5-12	5-10	-	250

6. Avantages et Inconvénients

Avantages

La qualité du matériau fibrés confère au béton plusieurs avantages par rapport au béton ordinaire :

- Facile à mettre en œuvre
- Béton plus léger que le béton ordinaire
- Béton plus durable
- Remplacement total ou partiel des armatures traditionnelles passives (fibres métalliques)
- Diminution du risque de fissuration
- Résistance au feu, aux chocs, à la traction et à la flexion

Inconvénients

- Le béton fibré est plus cher que le béton ordinaire
- L'incorporation de fibres diminue l'ouvrabilité du béton, l'ajout de superplastifiant est alors recommandé.
- Il est interdit d'utiliser des fibres structurelles en zone de risque sismique modéré et plus.
- Un manque d'expérience d'utilisation des fibres.
- Réaction des fibres de verre avec les alcalis

7. Influence des fibres sur le plan rhéologique

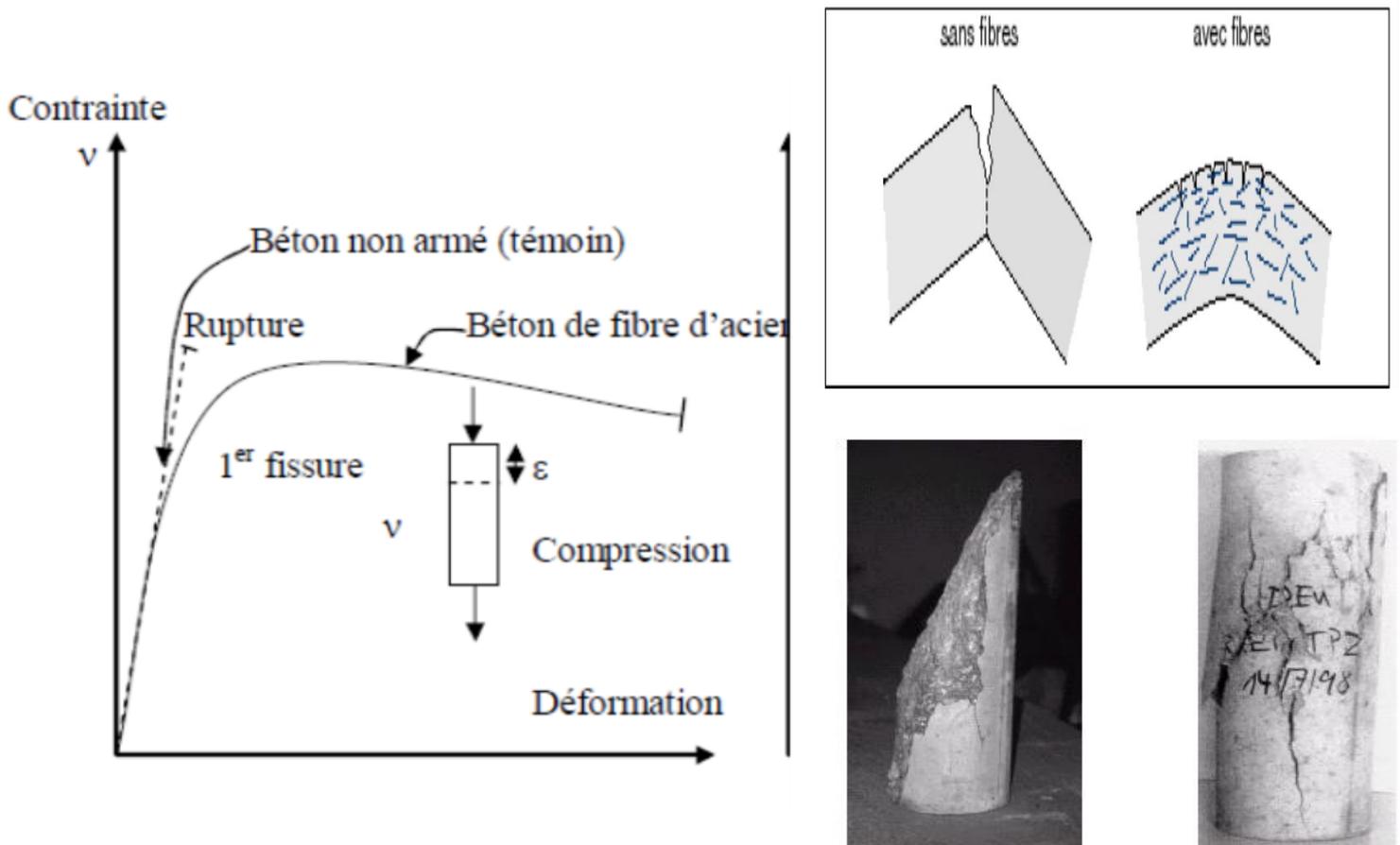
L'adjonction de fibres à des matériaux cimentaires à l'état frais nécessite de prendre un certain nombre de précautions afin de limiter le risque d'orientation préférentielle. La durée du malaxage affecte la répartition des fibres au sein du matériau cimentaire. S'il est trop court, les fibres ne seront pas réparties uniformément. S'il est trop long, la distribution deviendra inégale en raison de la ségrégation des fibres.

8. Influence des fibres sur le plan mécanique

Le renforcement par des fibres est utilisé pour améliorer la ductilité et fournir un contrôle du mécanisme de fissuration.

Les fibres ont habituellement un faible effet sur la résistance à la compression. Leur effet le plus significatif a trait au comportement en flexion (traction), ainsi dans

plusieurs applications, les bétons renforcés de fibres sont utilisés dans des endroits où ils sont soumis à de tels efforts.



Comparaison entre les bétons fibrés et bétons ordinaires

8.1. Résistance à la compression

Les résultats qui comparent un béton ordinaire à un béton de fibres, montrent une légère augmentation de l'effort maximum de compression avec la teneur en fibres

- Un gain de 15% de la résistance à la compression.
- Une augmentation de la déformation de 38% et la résistance à la rupture de 35%.

8.2. Résistance à la Flexion

Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la macrofissuration :

- L'addition de fibres augmente la résistance à la flexion jusqu'à 57%
- Une diminution de 40% l'ouverture des fissures
- Une Augmentation de la rigidité après fissuration

8.3. Autres propriétés

8.3.1. Fluage

Les matériaux cimentaires à base de fibres pourraient être susceptibles au phénomène de fluage à condition que les fibres soient soumises à des contraintes de traction permanentes.

8.3.2. Fatigue

La présence des fibres augmente la résistance à la fatigue et améliore le comportement du béton sous sollicitations cycliques.

8.3.3. Retrait

Le renforcement des matériaux cimentaires par des fibres est l'une des solutions techniques qui permettent de réduire le phénomène du retrait. La présence des fibres permet de diminuer le retrait jusqu'à de 16%.

8.3.4. Dégradations chimiques

Incorporation des fibres métalliques dans les bétons peut rendre le problème de durabilité vis-à-vis des attaques chimiques plus complexe car les fibres sont sujettes au phénomène de corrosion et de dégradation.

9. Méthode de formulation

Dans le béton de fibres la matrice cimentaire est différente de celle du béton ordinaire

- Les teneurs en ciment qui sont ordinairement plus élevées pour le béton de fibres que pour les bétons classiques ; elles varient de 325 à 450 Kg/m³ pour une granulométrie de 0 à 10 mm

- Pour améliorer l'ouvrabilité et réduire la teneur en eau, des Additions minérales peuvent être utilisées en remplacement d'une partie du ciment portland, par exemple 50 à 100 Kg/m³ de ciment
- Dans le béton de fibres, des rapports eau/ ciment de 0,41 à 0,48 sont habituels. Les applications à des structures spéciales, notamment le pavage, se traduisent par des rapports E/C plus faibles (0,38 à 0,44) mais il en résulte plus de difficultés de mise en place.
- L'ajout de fibres d'acier dans le béton modifie le squelette granulaire. On doit donc augmenter la quantité de sable pour optimiser ce squelette granulaire et rendre ainsi le béton plus compact puisqu'il est de cette façon plus maniable.
- Lorsque la quantité de sable augmente la porosité du béton augmente. Pour contrer cet effet, il faut alors utiliser plus de pâte de ciment pour remplir les vides et augmenter cette fois l'action mécanique entre les fibres et la pâte de ciment.
- Les fibres doivent avoir une longueur supérieure à 2 fois le diamètre des granulats.
- Pour le malaxage, les constituants (gravier, sable, ciment) ont été mélangés dans un premier temps à sec pendant une minute. Par la suite le tiers de l'eau a été introduit dans le malaxeur durant 30 secondes pour mouiller les granulats. L'opération de malaxage a encore continué pendant 4 minutes supplémentaires après avoir introduit l'eau restante ainsi que les fibres.